

**Fortbewegungsmittel mit verbesserten Strömungseigenschaften**Beschreibung

Die Erfindung betrifft allgemein Fortbewegungsmittel und  
5 insbesondere Fortbewegungsmittel, entlang deren Oberfläche  
ein Medium strömt, wobei das Medium ein Gas, eine  
Flüssigkeit oder ein Gemisch aus Gas und Flüssigkeit  
umfassen kann.

10 Es ist bekannt, dass die Strömungseigenschaften eines  
Fortbewegungsmittels, das sich in einem Medium bewegt, von  
einer Reihe von Parametern abhängen. Hierzu gehören unter  
anderen die Eigenschaften des Mediums, die Form des  
Fortbewegungsmittels, sowie die Relativgeschwindigkeit von  
15 Fortbewegungsmittel und Medium.

Insbesondere um den Strömungswiderstand zu reduzieren und  
um andere negative Strömungseigenschaften so weit wie  
möglich zu vermeiden, wird von Fahrzeugherstellern mit  
20 großem Zeit- und Kostenaufwand die Geometrie von Fahrzeugen  
immer weiter optimiert. Dies betrifft in unterschiedlichem  
Maß sowohl Land-, Wasser- als auch Luftfahrzeuge. Jedoch  
sind der Unterdrückung bestimmter negativer Strömungs-  
effekte durch Anpassung der Fahrzeuggeometrie Grenzen  
25 gesetzt.

Durch den Druckausgleich am hinteren Ende eines bewegten  
Objekts entstehen beispielsweise sogenannte Schleppwirbel.  
Auch bereits in der Übergangsphase zwischen laminaren und  
30 turbulenten Strömungen kann es passieren, daß sich große  
Schleppwirbel durch Abreissen der laminaren Strömung  
bilden. Die Erzeugung solch unkontrollierter großer

Schleppwirbel erfordert Energie und führt daher zu einer erheblichen Bremswirkung.

Dies ist insbesondere ein Problem in der Luftfahrt, da  
5 solch große Wirbel für einen längeren Zeitraum stabil  
bestehen bleiben und dadurch nachfolgende Luftfahrzeuge  
beeinträchtigen können. Ebenso sind aber Schleppwirbel auch  
bei Land- und Wasserfahrzeugen zu beobachten.

10 Ein weiteres Problem ist die Bildung von Leewalzen bei  
Seitenwind. Hierbei handelt es sich um große Wirbel, die  
sich auf der windabgewandten Seite eines Objekts bilden.  
Durch den entstehenden Druckunterschied führt dies  
insbesondere bei Hochgeschwindigkeitszügen zu einer  
15 erhöhten Kippgefahr des Zuges.

Weiterhin ist mit der Bildung turbulenter Wirbel in der  
Regel eine hohe Geräusch- und Vibrationsentwicklung  
verbunden.

20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen neuen Weg  
aufzuzeigen, wie die Strömungseigenschaften eines  
Fortbewegungsmittels, das sich relativ zu einem umgebenden  
Medium bewegt, verbessert und die oben beschriebenen  
25 nachteiligen Effekte vermindert werden können.

Die Aufgabe wird in überraschend einfacher Weise durch  
einen Gegenstand gemäß einem der anhängenden unabhängigen  
Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und  
30 Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen umschrieben.  
Die Erfinder haben überraschend herausgefunden, dass bei  
Fortbewegungsmitteln, deren Oberfläche zumindest teilweise  
eine spezielle dreidimensionale Oberflächenstruktur, wie  
sie in EP 92 911 873.5, PCT RU92/00106 und in  
35 EP 96 927 047.9, PCT/EP96/03200 beschrieben wird, aufweist,

nicht nur der Strömungswiderstand reduziert ist, sondern auch weitere negative Strömungseffekte vermindert sind. Der Offenbarungsgehalt der EP 92 911 873.5, PCT RU92/00106 und der EP 96 927 047.9, PCT/EP96/03200 wird daher hiermit 5 ausdrücklich durch Referenz inkorporiert.

Dementsprechend umfasst ein erfindungsgemäßes Fortbewegungsmittel zumindest eine Oberfläche, die eine Strukturierung mit einer Vielzahl von Vertiefungen und/oder 10 Erhebungen aufweist, wobei bei Bewegung des Fortbewegungsmittels ein umgebendes Medium entlang dieser Oberfläche strömt.

Vorteilhaft ist die zumindest eine Oberfläche derart 15 ausgebildet, dass sich in der Nähe der Oberfläche Vortices in dem umgebenden Medium bilden, wenn das Medium an der Oberfläche entlang strömt.

Die Entstehung von Vortices in der Nähe der Oberfläche in 20 dem umgebenden Medium durch eine erfindungsgemäße Vertiefung lässt sich folgendermassen beschreiben. An der Vertiefung bildet sich zunächst eine Wirbelwalze im wesentlichen quer zur Strömungsrichtung. Da diese 25 Wirbelwalze typischerweise eine nicht verschwindende Helizität aufweist, wird das Medium an dem einen Ende in den Wirbel gesogen und an dem anderen Ende ausgestossen. Dies führt dazu, dass sich das letztgenannte Ende des 30 Wirbels von der Oberfläche löst und von der Hauptströmung mitgerissen wird. Es bilden sich auf diese Weise Vortices, die ausgehend von den Vertiefungen von der Oberfläche weg in Richtung Hauptströmung führen. Da der Druck innerhalb der Vortices geringer ist als in deren Umgebung, wird die Grenzschicht des Mediums in der Nähe der Oberfläche 35 abgesogen und in die Hauptströmung geleitet. Jeder Wirbel wirkt dadurch als eine Art Grenzschichtkontroller, der in

allen Richtungen der Umgebung das umgebende Medium in sich, auch gegen die regierende Strömungsrichtung, hineinsaugt. Dadurch werden in der Nähe der Oberfläche im Medium vorhandene ungeordnete Turbulenzen abgebaut.

5

Durch die beschriebene Bildung von Vortices wird der Strömungsabriss im Vergleich zu einer glatten Oberfläche entlang der Strömungsrichtung nach hinten verschoben, sowie die oben beschriebenen negativen Strömungseffekte wie 10 Schleppwirbel- oder Leewalzenbildung reduziert. Die Reduzierung der Schleppwirbelbildung führt gleichzeitig auch zu einer Reduzierung des Gesamtwiderstandes.

Vorteilhaft weisen die Vertiefungen und/oder Erhebungen 15 einen zweidimensional begrenzten Rand auf und sind besonders vorteilhaft im Bereich des Randes zum Rest der Oberfläche hin mit einem vorgegebenen Abrundungsradius abgerundet. Der Abrundungsradius kann dabei in unterschiedlichen Richtungen innerhalb der Ebene der 20 Oberfläche einen unterschiedlichen Wert aufweisen.

Vorzugsweise weisen die Vertiefungen im wesentlichen die Form eines Abschnitts einer Kugel oder eines Ellipsoids auf, da diese Form herstellungstechnisch am einfachsten zu 25 realisieren ist.

Die Form, Größe und Anordnung der Vertiefungen und/oder Erhebungen kann vorteilhafterweise auf unterschiedliche Strömungsbedingungen abgestimmt werden, die durch den 30 Einsatzzweck des Fortbewegungsmittels vorgegeben werden. Um während der Benutzung eine flexible Anpassung der Oberflächenstruktur des Fortbewegungsmittels an unterschiedliche Bewegungszustände zu realisieren, umfasst das Fortbewegungsmittel vorteilhaft eine Einrichtung zum 35 Variieren der Form und/oder der Anzahl der Vertiefungen

und/oder Erhebungen. Beispielsweise kann dies mittels flexibler Membranen erfolgen, wie dies in EP 96 927 047.9 beschrieben wird. Die EP 96 927 047.9 wird daher hiermit auch diesbezüglich ausdrücklich durch Referenz

5 inkorporiert.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Vertiefungen und/oder Erhebungen zumindest abschnittsweise im wesentlichen periodisch auf der Oberfläche des

10 Fortbewegungsmittels angeordnet.

Um mit der Strukturierung eine möglichst vollständige Flächenabdeckung zu erzielen, umfasst die Oberfläche des Fortbewegungsmittels, welche die Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, zweckmäßigerweise zumindest einen ersten, im wesentlichen ebenen Bereich und zumindest einen zweiten, im wesentlichen gekrümmten Bereich. Auf diese Weise lässt sich die strukturierte Oberfläche an beliebige Geometrien des Fortbewegungsmittels anpassen.

20

Da typischerweise in dem ebenen und dem gekrümmten Bereich der Oberfläche des Fortbewegungsmittels unterschiedliche Strömungszustände herrschen, unterscheiden sich die Vertiefungen und/oder Erhebungen in diesen Bereichen vorteilhaft in Form und/oder Größe und/oder Anordnung.

25

In einer besonders bevorzugten Anordnung der Vertiefungen und/oder Erhebungen in einem im wesentlichen ebenen Bereich der Oberfläche des Fortbewegungsmittels bilden die Mittelpunkte dreier direkt benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen ein gleichseitiges Dreieck, wobei der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen einen im wesentlichen konstanten ersten Wert und der Abstand zweier aufeinanderfolgender Reihen von Vertiefungen und/oder Erhebungen einen im wesentlichen

35

konstanten zweiten Wert aufweisen. In einem gekrümmten Bereich weist die Oberfläche bevorzugt eine ähnliche Anordnung auf, die die Oberflächenkrümmung berücksichtigt.

5 Eine bevorzugte Ausbildung eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels umfasst ein Landfahrzeug, insbesondere ein Schienenfahrzeug oder einen Last- oder Personenkraftwagen, mit zumindest einer Aussenhülle, wobei zumindest Teile der Oberfläche der Aussenhülle eine Vielzahl von Vertiefungen  
10 und/oder Erhebungen aufweisen.

Besonders bevorzugt weist die Oberfläche des Fortbewegungsmittels eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen derart auf, dass die Leewalzenbildung  
15 reduziert ist gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, dessen Oberfläche eine glatte Struktur aufweist. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn das Fortbewegungsmittel als Schienenfahrzeug, insbesondere als Hochgeschwindigkeitszug ausgebildet ist.

20 Eine weitere bevorzugte Ausbildung eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels umfasst ein Luftfahrzeug, insbesondere ein Flugzeug oder Hubschrauber, mit zumindest einer der Komponenten Aussenhülle, Propeller, Rotor, Turbine,  
25 Tragfläche, Lenkfläche oder Leitwerk, wobei zumindest Teile der Oberfläche einer dieser Komponenten eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

30 Eine bevorzugte Ausbildung eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels ist auch ein Wasserfahrzeug, umfassend zumindest einen Rumpf und/oder eine Antriebsschraube, wobei zumindest Teile der Oberflächen des Rumpfes und/oder der Antriebsschraube eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

Darüber hinaus liegen auch beliebige andere Arten von Fortbewegungsmitteln, wie beispielsweise Surfboards, Bob-Schlitten oder Raketen, mit einer Oberfläche, welche eine 5 Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, im Rahmen der Erfindung.

Besonders bevorzugt wird durch die Oberfläche des Fortbewegungsmittels, welche eine Vielzahl von Vertiefungen 10 und/oder Erhebungen aufweist, gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, dessen Oberfläche eine glatte Struktur aufweist,

- die Schleppwirbelbildung reduziert und/oder
- die Leewalzenbildung reduziert und/oder
- der Strömungswiderstand reduziert und/oder
- die Position des Strömungsabisses relativ zur Bewegungsrichtung des Fortbewegungsmittels nach hinten 15 verschoben und/oder
- die Geräuschentwicklung reduziert und/oder
- die Vibrationsentwicklung reduziert und/oder
- die Ablagerung von Partikeln auf der Oberfläche reduziert 20 und/oder
- die Eisbildung auf der Oberfläche reduziert.

25 Dementsprechend umfasst die Erfindung auch die Verwendung einer Oberfläche, welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, als Oberfläche oder Teil einer Oberfläche eines Fortbewegungsmittels zu einem oder mehreren dieser Zwecke.

30 Weiterhin umfasst die Erfindung eine Schicht, insbesondere ausgebildet als Folie, zum Aufbringen auf eine Oberfläche oder Teile einer Oberfläche eines Fortbewegungsmittels, wobei die Aussenseite der Schicht eine Strukturierung 35 aufweist, die eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder

Erhebungen umfasst. Durch Aufbringen einer solchen Schicht lassen sich die erfindungsgemäßen Vorteile auch durch Nachrüsten herkömmlicher Fortbewegungsmittel erzielen.

5 Die Erfindung wird nachstehend anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, wobei sich in den einzelnen Zeichnungen gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche Bestandteile beziehen.

10

Es zeigen

Figur 1: eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,

15 Figur 2: eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,

Figur 3: eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen

20 Fortbewegungsmittels,

Figur 4: eine schematische Darstellung einer Antriebsschraube eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,

Figur 5: eine schematische Darstellung eines Rotors eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,

25 Figur 6: schematisch die Querschnitte zweier Tragflächen,

Figur 7: schematisch einen mittigen Querschnitt einer ersten Ausführungsform einer Vertiefung bzw. Erhebung senkrecht zur Oberfläche,

30 Figur 8: eine schematische Darstellung einer ersten Verteilung von Vertiefungen bzw. Erhebungen,

Figur 9: schematisch einen mittigen Querschnitt einer zweiten Ausführungsform einer Vertiefung bzw. Erhebung senkrecht zur Oberfläche,

Figur 10: eine schematische Darstellung einer zweiten Verteilung von Vertiefungen bzw. Erhebungen,

Figur 11: schematisch einen mittigen Querschnitt senkrecht zu Oberfläche einer dritten Ausführungsform von

5 Vertiefungen bzw. Erhebungen mit der entsprechenden Draufsicht,

Figur 12: eine schematische Darstellung einer

Ausführungsform einer Oberfläche mit Vertiefungen bzw. Erhebungen, die ebene und gekrümmte Bereiche 10 aufweist.

Fig. 1 zeigt einen Hochgeschwindigkeitszug 10, dessen äußere Oberfläche 101 eine Vielzahl von Vertiefungen

15 aufweist. Bei Bewegung des Zuges werden durch den oben

beschriebenen Mechanismus ausgehend von diesen Vertiefungen sekundäre Vortices in der an der Oberfläche entlang strömenden Luft erzeugt. Durch diese selbstorganisierenden

Vortexstrukturen wird die Grenzschicht in der Nähe der

20 Oberfläche abgesaugt und in die Hauptströmung geleitet,

wodurch der Strömungswiderstand reduziert und verschiedene

negative Strömungseffekte vermindert werden. Eine besondere

Bedeutung kommt hier insbesondere einer reduzierten

Leewalzenbildung bei Seitenwind zu, die bei herkömmlichen

25 Hochgeschwindigkeitszügen ein großes Problem darstellt.

In Fig. 2 ist ein üblicher Düsenjet 20 gezeigt. In diesem Ausführungsbeispiel weisen die Oberflächen 201 der

Tragflächen 22 eine Strukturierung mit einer Vielzahl von

30 Vertiefungen und/oder Erhebungen auf. Diese Strukturierung kann bei der Herstellung der Tragflächen vorgesehen werden

oder auch durch eine nachträglich aufgebrachte Schicht

erzeugt werden, beispielsweise durch Aufbringen einer

Folie, die die Strukturierung aufweist. Die strukturierte

35 Oberfläche kann selbstverständlich mit Vorteil auch auf

weiteren Oberflächen eines solchen Flugzeugs vorgesehen werden, wie beispielsweise des Rumpfes 21, der hinteren Leitwerke 23 und 24 oder der Außenseite der Antriebsaggregate 25. Auch könnten beispielsweise die 5 Turbinenschaufeln der Antriebsaggregate 25 eine erfindungsgemäß strukturierte Oberfläche aufweisen. Vorteilhafte Effekte eines erfindungsgemäßen Luftfahrzeugs sind beispielsweise eine Reduzierung der Schleppwirbelbildung und eine Verbesserung der Stall-Eigenschaften. Die 10 Erfahrung reduziert außerdem ein insbesondere bei Überschallflugzeugen auftretendes Problem einer Erhitzung der Aussenhülle durch eine deutliche Verringerung des Oberflächenwiderstandes. Gleichzeitig wird durch die erfindungsgemäße Oberflächenstrukturierung der 15 Wärmeübergang zwischen Oberfläche und Medium verbessert, was ebenfalls zu einer Reduzierung dieses Problems beiträgt.

Fig. 3 zeigt ein Schiff 30, bei dem die unter der 20 Wasserlinie 40 liegende Oberfläche 301 des Rumpfes 31 eine Strukturierung mit einer Vielzahl von Vertiefungen aufweist. Eine erfindungsgemäß strukturierte Oberfläche 331 kann außerdem auch auf den Blättern 34 der Antriebsschraube 33 vorgesehen sein. Dies ist in Fig. 4 nochmals im Detail 25 dargestellt.

Fig. 5 zeigt einen Rotor 50 eines erfindungsgemäßen Hubschraubers mit zwei Rotorblättern 51, deren Oberfläche 501 eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen 30 aufweist. Auch in diesem Ausführungsbeispiel können die Strömungseigenschaften auf diese Weise positiv beeinflusst werden. Bei Hubschraubern wirkt sich dies insbesondere durch verbesserten Lift, verbesserte Stall-Eigenschaften und eine Reduzierung der Geräuschentwicklung aus. Auf

gleiche Weise können auch die Stall-Eigenschaften eines Propellers verbessert werden.

Fig. 6 zeigt den Querschnitt eines Profils einer herkömmlichen Tragfläche 26. Das langgezogene Profil ist erforderlich, um einen frühzeitigen Strömungsabriss zu vermeiden, der zu einem Verlust des Auftriebs führen würde. Weist jedoch die Oberfläche einer Tragfläche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen auf, verschiebt sich 10 der Punkt des Strömungsabisses entlang der Strömungsrichtung nach hinten, wodurch völlig neue Tragflächenprofile ermöglicht werden. Ein solches Profil 27 ist in Fig. 6 beispielhaft, zum Vergleich über das herkömmliche Profil 26 gelegt, dargestellt. Durch solch 15 neuartige Tragflächenprofile kann der Auftrieb signifikant erhöht beziehungsweise bei gleichem Auftrieb die Dimensionen der Tragfläche deutlich verringert werden.

Figur 7 zeigt einen mittigen Querschnitt einer bevorzugten 20 Form einer Vertiefung 602 senkrecht zu einer ebenen Oberfläche. Die Vertiefung 602 in diesem Ausführungsbeispiel hat die Form eines Abschnitts einer Kugel bzw. einer Kugelkalotte mit Radius  $R_1$ , Höhe  $h$  und Durchmesser  $d$ , und ist mit einem Abrundungsradius  $R_2$  25 abgerundet. Eine Vertiefung ist in diesem Beispiel rotationssymmetrisch zu einer Rotationsachse durch den Mittelpunkt der Vertiefung senkrecht zur Oberfläche.

In Fig. 8 ist eine bevorzugte Verteilung der 30 Vertiefungen 602 auf einer ebenen Oberfläche dargestellt. Die Vertiefungen 602 sind periodisch angeordnet, wobei die Mittelpunkte dreier direkt benachbarter Vertiefungen 602 ein gleichseitiges Dreieck bilden. Der Winkel  $\alpha$  beträgt daher  $60^\circ$ . Der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter

Vertiefungen 602 und damit die Seitenlänge des genannten Dreiecks beträgt  $t_2$ . Der Abstand zweier aufeinanderfolgender Reihen von Vertiefungen 602 und damit die Höhe des genannten Dreiecks beträgt  $t_1$ .  $t_1$  und  $t_2$  können 5 je nach Einsatzzweck unterschiedliche Werte aufweisen.

Figur 9 zeigt einen mittigen Querschnitt einer weiteren bevorzugten Form einer Vertiefung 702 senkrecht zu einer ebenen Oberfläche. Die Vertiefung 702 in diesem 10 Ausführungsbeispiel hat die Form eines Abschnitts eines Ellipsoids mit den Durchmessern  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$ , wobei  $E_3$  senkrecht zur Zeichenebene liegt und dementsprechend nicht dargestellt ist. Die Vertiefung weist eine Höhe  $h$  und einen Durchmesser  $d$  auf und ist mit einem Abrundungsradius  $R_3$  15 abgerundet.

In Fig. 10 ist eine bevorzugte Verteilung der Vertiefungen 702 auf einer ebenen Oberfläche dargestellt. Diese entspricht im wesentlichen der in Fig. 8 für die 20 Vertiefungen 602 dargestellten Anordnung.

Weitere vorteilhafte Formen und Anordnungen der Vertiefungen und/oder Erhebungen sind den Anmeldungen EP 92 911 873.5, PCT RU92/00106 und EP 96 927 047.9, 25 PCT/EP96/03200 zu entnehmen. Dementsprechend weist die Oberfläche vorteilhaft eine dreidimensionale Struktur auf, wie sie beispielhaft in Fig. 11 schematisch dargestellt ist, mit Vertiefungen oder Erhebungen 802, gekrümmten Gebieten und Übergangsgebieten. In dem im oberen Bereich 30 der Fig. 11 dargestellten Querschnitt der Oberfläche erstrecken sich die Vertiefungen bzw. Erhebungen entlang deren Durchmesser  $d$ , die gekrümmten Gebiete entlang der Strecke  $l_c$  und die Übergangsgebiete entlang der Strecke  $l_{tr}$ . Der Abstand zweier Vertiefungen ist wiederum mit  $t_2$  35 bezeichnet.

Ein beliebiger Abschnitt der Vertiefungen oder Erhebungen 802 entlang der Oberfläche hat die Gestalt einer glatten und durchgehenden Linie, die durch folgende Beziehung

5 beschreibbar ist:

$$r(\varphi, z) = \left(\frac{z}{h}\right)^k \left[ r(h, 0) - \frac{l_c}{2} + \Delta r \left( \frac{\varphi}{180^\circ} - \frac{1}{4\pi} \sin \frac{4\pi\varphi}{180^\circ} \right) + \right. \\ \left. + A_1 \Delta r \left( \sin \frac{\pi\varphi}{180^\circ} - \frac{1}{3} \sin \frac{3\pi\varphi}{180^\circ} \right) + A_2 \Delta r \left( \sin \frac{2\pi\varphi}{180^\circ} - \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi\varphi}{180^\circ} \right) \right], \quad (1)$$

10 worin:

- $r(\varphi, z)$  der Abschnittsradius in Richtung des Winkels  $\varphi$  (in Winkelmaß) ist, der von der Strecke aus, die die Zentren von benachbarten Vertiefungen und/oder Erhebungen verbindet oder von einer beliebigen Strecke aus, die in dem 15 gekennzeichneten Abschnitt liegt, zu zählen ist;
- $z$  die Abschnittshöhe über dem niedrigsten Punkt der Vertiefungen ist oder der Abschnittsabstand vom höchsten Punkt der Erhebungen ist;
- $r(h, 0)$  der Radius des Vertiefungs- oder 20 Erhebungsabschnitts in Richtung des Winkels  $\varphi = 0^\circ$  ist;
- $\Delta r = r(h, 180^\circ) - r(h, 0^\circ)$  die Differenz zwischen den Radien des Vertiefungs- oder des Erhebungsabschnitts in Richtung der Winkel  $\varphi = 180^\circ$  und  $\varphi = 0^\circ$  ist;
- $l_c$  die Abmessung des gekrümmten Bereichs projiziert auf 25 eine Ebene, die parallel zur Ebene der Oberfläche verläuft, ist;
- $k$  ein Koeffizient ist mit  $0,3 < k < 0,7$ ;
- $A_1$  ein Koeffizient ist mit  $-1 < A_1 < 1$ ;
- $A_2$  ein Koeffizient ist mit  $-1 < A_2 < 1$ ; und
- 30 -  $h$  die Tiefe bzw. Höhe der Vertiefungen bzw. Erhebungen ist.

In den gekrümmten Gebieten sind die Vertiefungen bzw. Erhebungen vorteilhaft mit einem Abrundungsradius von  $R > 3 \cdot h$  zu den Übergangsgebieten hin abgerundet.

5

Vorteilhaft liegt der Wert von  $h$  zwischen dem 0,005- und dem 0,3-fachen der Dicke der Grenzschicht. Mit  $d$  dem Durchmesser der Vertiefungen oder Erhebungen gelten außerdem vorzugsweise die folgenden Beziehungen:

10

$$2 \cdot h < d < 40 \cdot h, \text{ insbesondere } 2 \cdot h < d < 10 \cdot h,$$

$$0,3 \cdot d < l_c < 0,5 \cdot d \text{ und}$$

$$0,05 \cdot d < l_r < 3 \cdot d.$$

15 Die in Gleichung (1) enthaltenen Parameter können abhängig von der Art des Mediums, der Form und den Dimensionen der Oberfläche, der Strömungsgeschwindigkeit, der Temperatur des Mediums und der Oberfläche, sowie weiteren die Strömung beeinflussenden Faktoren unterschiedlich gewählt werden.

20

Fig. 12 zeigt eine Oberfläche, die zumindest einen ebenen Bereich 601 und einen gekrümmten Bereich 901 aufweist. Wird eine solche Oberfläche von einem Medium umströmt, ist es aufgrund unterschiedlicher Strömungszustände in den unterschiedlichen Bereichen vorteilhaft, wenn sich die Vertiefungen bzw. Erhebungen 602 in dem ebenen Bereich 601 in Form und/oder Größe und/oder Anordnung von den Vertiefungen bzw. Erhebungen 902 in dem gekrümmten Bereich 901 unterscheiden. Auch kann dies allein aus geometrischen Gründen erforderlich sein, da bei einer starken Krümmung der Oberfläche beispielsweise eine sinnvolle Größe der Vertiefungen bzw. Erhebungen beschränkt ist.

Die Figuren 13 a und 13 b zeigen das Modell eines Zuges mit einer Oberfläche, welche eine Vielzahl von Vertiefungen aufweist. Die Form der in diesem Modell verwendeten Vertiefungen entspricht im wesentlichen den in Fig. 7

5 dargestellten, angepasst an die Krümmung der Oberfläche. Zu erkennen ist auch eine Variation in Größe und Verteilung der Vertiefungen zwischen unterschiedlich gekrümmten Bereichen der Oberfläche.

10 Die Strömungseigenschaften dieses Modells wurden in einem Windkanal gemessen. Dabei ergab sich ein um 16% reduzierter Oberflächenwiderstand, sowie eine deutlich reduzierte Leewalzenbildung. Weiterhin ergaben Messungen in einem Medium, das turbulente Strömungen aufwies, eine

15 signifikante Reduzierung der Vibrationsentwicklung.

Patentansprüche

1. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) mit zumindest einer Oberfläche (101, 201, 301), entlang der bei Bewegung des Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) ein umgebendes Medium strömt, wobei die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301) eine Strukturierung aufweist, die eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702, 802, 902) umfasst.  
10
2. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach Anspruch 1, wobei die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301) derart ausgebildet ist, dass sich in der Nähe der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301) Vortices in dem umgebenden Medium bilden, wenn das Medium an der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301) entlang strömt.  
15
3. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702, 802, 902) im Bereich des Randes zum Rest der Oberfläche (101, 201, 301) hin abgerundet sind.  
20
4. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702) im wesentlichen die Form eines Abschnitts einer Kugel oder eines Ellipsoids aufweisen.  
25
5. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend eine Einrichtung zum Variieren der Form und/oder der Anzahl der Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702).  
30
6. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702, 802, 902) zumindest abschnittsweise  
35

im wesentlichen periodisch auf der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301) angeordnet sind.

7. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301) zumindest einen ersten, im wesentlichen ebenen Bereich (601) und zumindest einen zweiten, im wesentlichen gekrümmten Bereich (901) umfasst.
- 10 8. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach Anspruch 7, wobei sich die Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 902) in dem zumindest einen ersten Bereich (601) und in dem zumindest einen zweiten Bereich (901) in Form und/oder Größe und/oder Anordnung unterscheiden.
- 15 9. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach Anspruch 7 oder 8, wobei zumindest in dem zumindest einen ersten, im wesentlichen ebenen Bereich (601) der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301) die Mittelpunkte dreier direkt benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen (602) ein gleichseitiges Dreieck bilden und der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen (602) einen im wesentlichen konstanten ersten Wert ( $t_2$ ) und der Abstand zweier aufeinanderfolgender Reihen von Vertiefungen und/oder Erhebungen (602) einen im wesentlichen konstanten zweiten Wert ( $t_1$ ) aufweisen.
- 25 10. Fortbewegungsmittel (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als Landfahrzeug, insbesondere als Schienenfahrzeug oder als Last- oder Personenkraftwagen, umfassend zumindest eine Aussenhülle, wobei zumindest Teile der Oberfläche (101) der Aussenhülle eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

11. Fortbewegungsmittel (10) nach Anspruch 10, wobei durch die zumindest eine Oberfläche (101), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, die Leewalzenbildung reduziert ist gegenüber einem ansonsten 5 identischen Fortbewegungsmittel, bei dem die zumindest eine Oberfläche eine glatte Struktur aufweist.

12. Fortbewegungsmittel (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als Luftfahrzeug, insbesondere als 10 Flugzeug oder Hubschrauber, umfassend zumindest eine Aussenhülle und/oder einen Propeller und/oder einen Rotor und/oder eine Turbine und/oder eine Tragfläche und/oder eine Lenkfläche und/oder ein Leitwerk, wobei zumindest Teile der Oberflächen (201) der Aussenhülle und/oder des 15 Propellers und/oder des Rotors und/oder der Turbine und/oder der Tragfläche und/oder der Lenkfläche und/oder des Leitwerks eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

20 13. Fortbewegungsmittel (30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als Wasserfahrzeug, umfassend zumindest einen Rumpf (31) und/oder eine Antriebsschraube (33), wobei zumindest Teile der Oberflächen (301) des Rumpfes (31) und/oder der Antriebsschraube (33) eine 25 Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

14. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei durch die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301), welche eine Vielzahl von 30 Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702, 802, 902) aufweist, gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, bei dem die zumindest eine Oberfläche eine glatte Struktur aufweist,  
- die Schleppwirbelbildung reduziert ist und/oder  
35 - die Leewalzenbildung reduziert ist und/oder

- der Strömungswiderstand reduziert ist und/oder
- die Position des Strömungsabisses relativ zur Bewegungsrichtung des Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) nach hinten verschoben ist und/oder

5    - die Geräuschentwicklung reduziert ist und/oder

- die Vibrationsentwicklung reduziert ist.

15. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Ablagerung von Partikeln 10 auf der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, reduziert ist gegenüber einer glatten Oberfläche, wenn ein Medium an der Oberfläche entlang strömt.

15    16. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Eisbildung auf der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, reduziert ist gegenüber einer glatten Oberfläche, wenn ein 20 Medium an der Oberfläche entlang strömt und die Oberfläche eine niedrigere Temperatur als das Medium aufweist.

17. Verwendung einer Oberfläche, welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, als Oberfläche 25 (101, 201, 301) eines Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) zum

- Reduzieren der Schleppwirbelbildung und/oder
- Reduzieren der Leewalzenbildung und/oder
- Reduzieren des Strömungswiderstandes und/oder
- Verschieben der Position des Strömungsabisses nach 30 hinten relativ zur Bewegungsrichtung des Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) und/oder
- Reduzieren der Geräuschentwicklung und/oder
- Reduzieren der Vibrationsentwicklung und/oder
- Reduzieren von Partikelablagerungen, wenn ein Medium an 35 der Oberfläche entlang strömt, und/oder

- Reduzieren von Eisbildung, wenn ein Medium an der Oberfläche entlang strömt.

18. Schicht, insbesondere Folie, zum Aufbringen auf eine  
5 Oberfläche oder Teile einer Oberfläche eines  
Fortbewegungsmittels, wobei die Aussenseite der Schicht  
eine Strukturierung aufweist, die eine Vielzahl von  
Vertiefungen und/oder Erhebungen umfasst.

Fig. 1

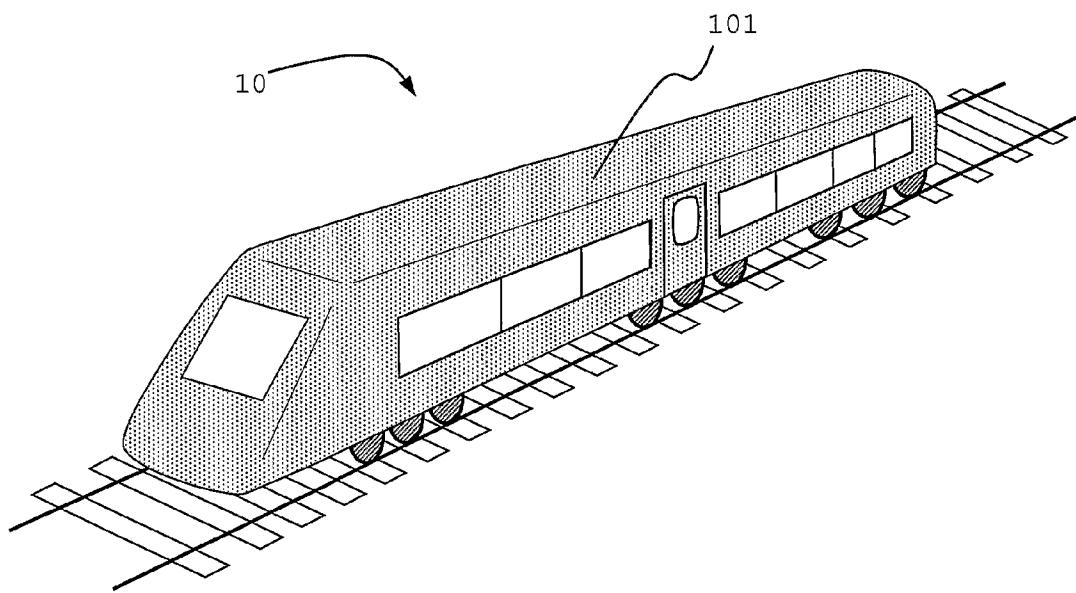


Fig. 2

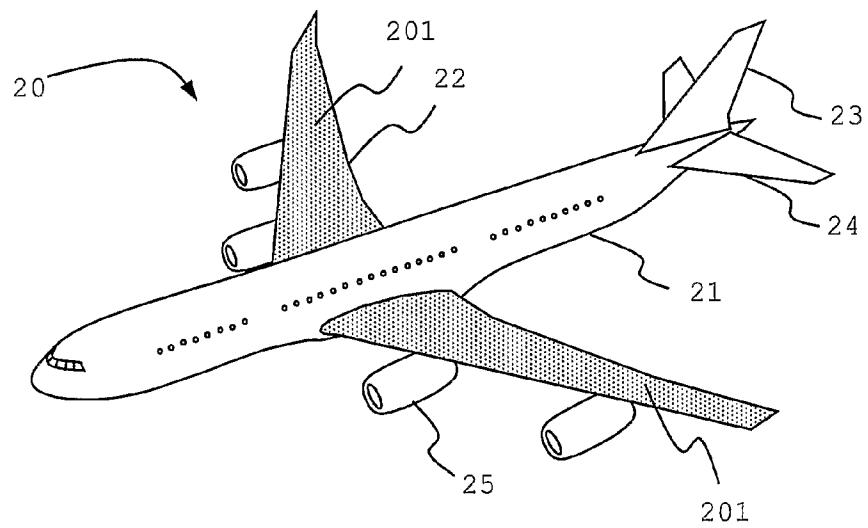


Fig. 3

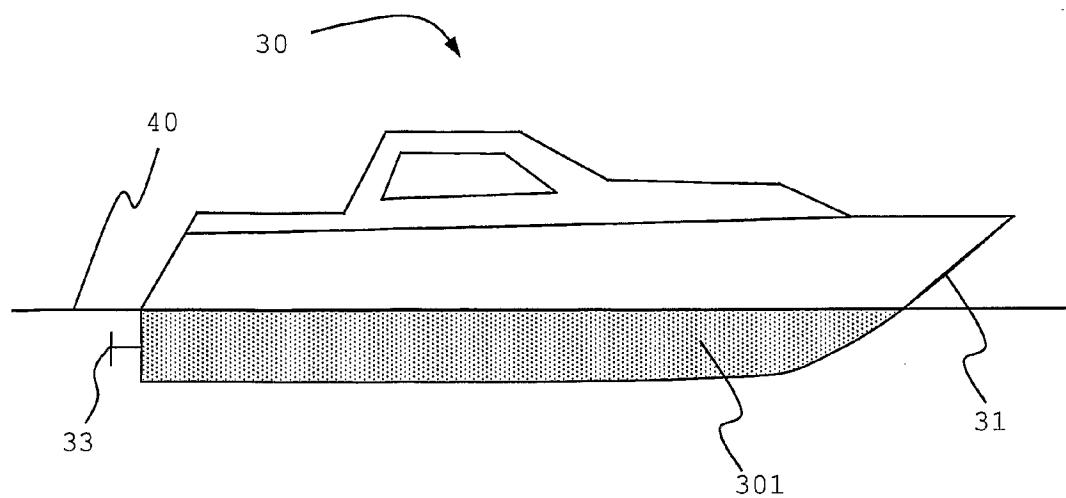


Fig. 4

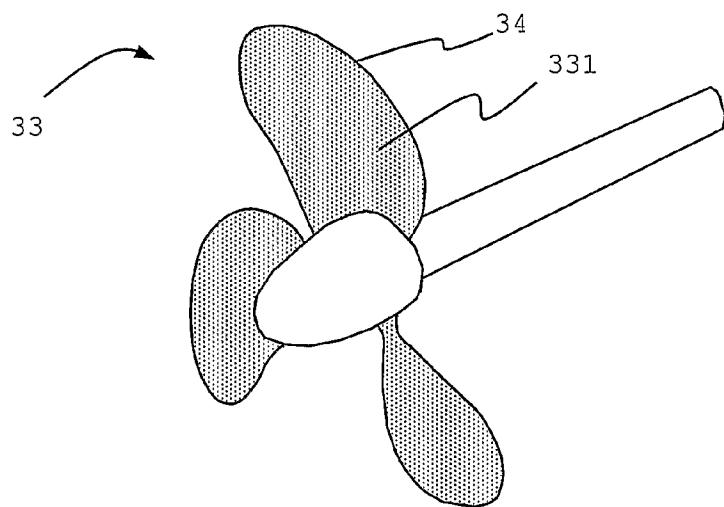


Fig. 5

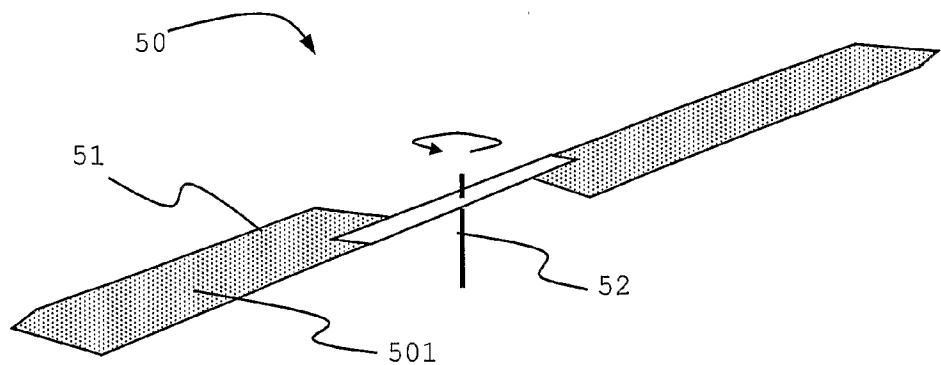


Fig. 6

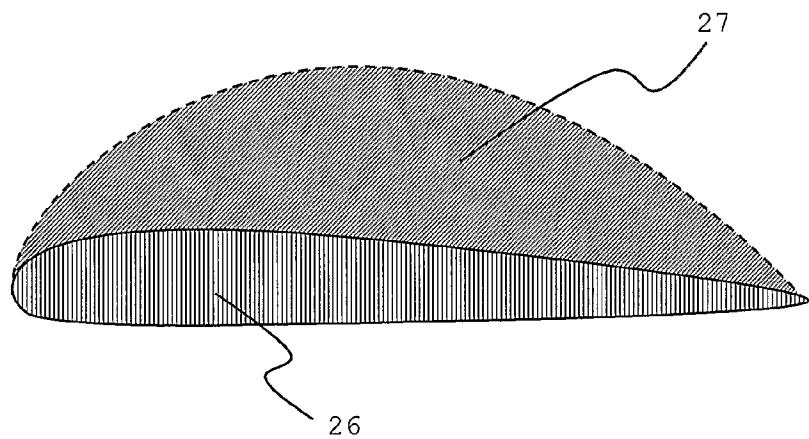


Fig. 7

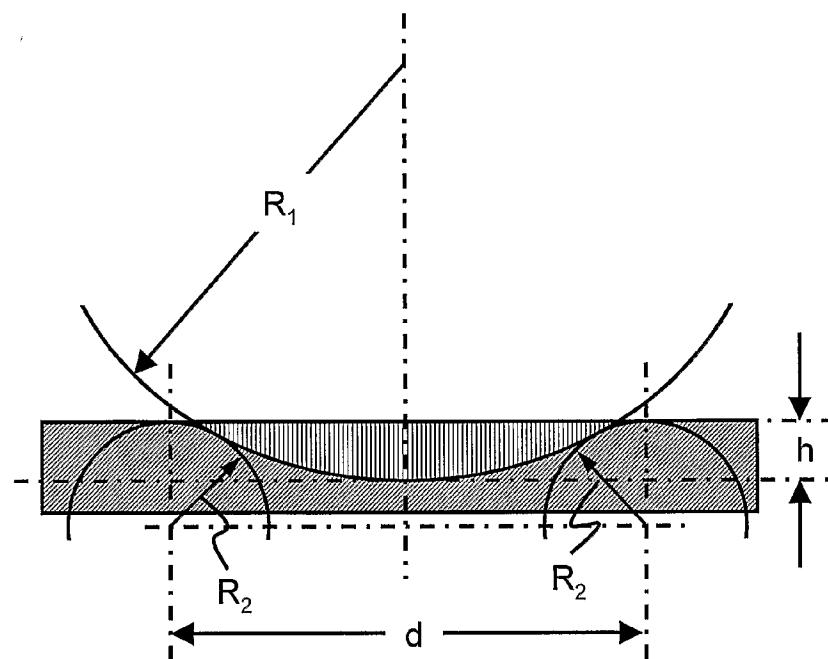


Fig. 8

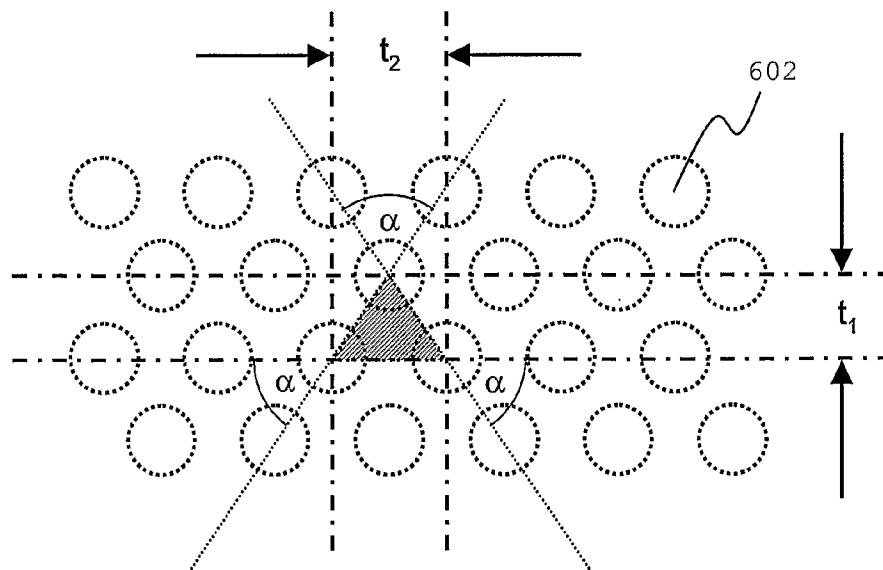


Fig. 9

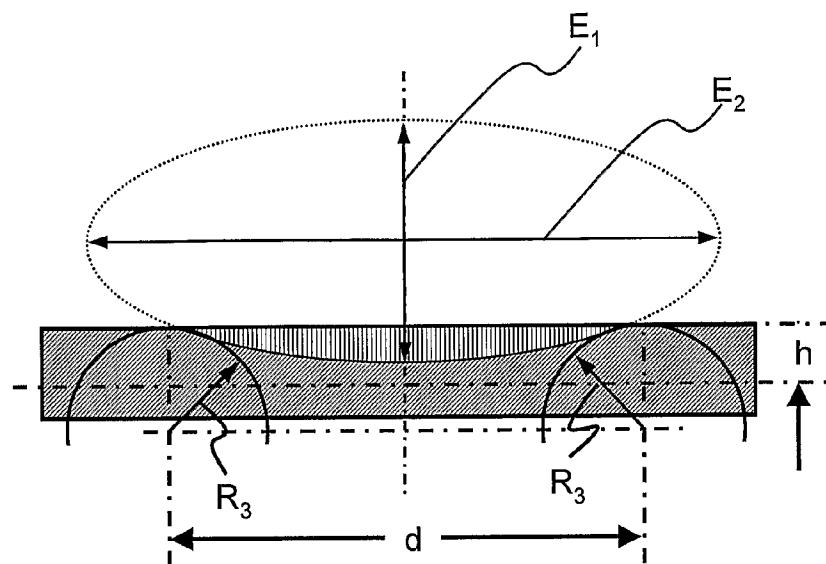


Fig. 10

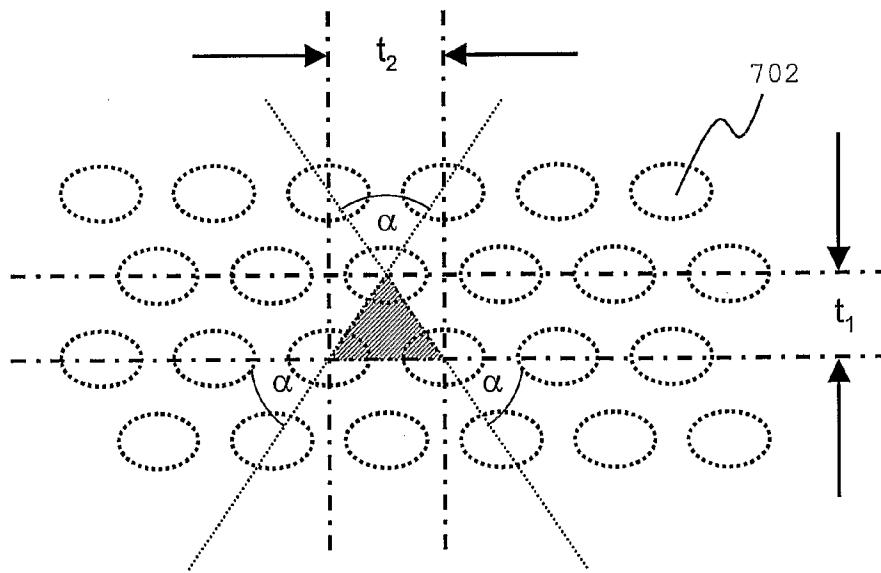


Fig. 11

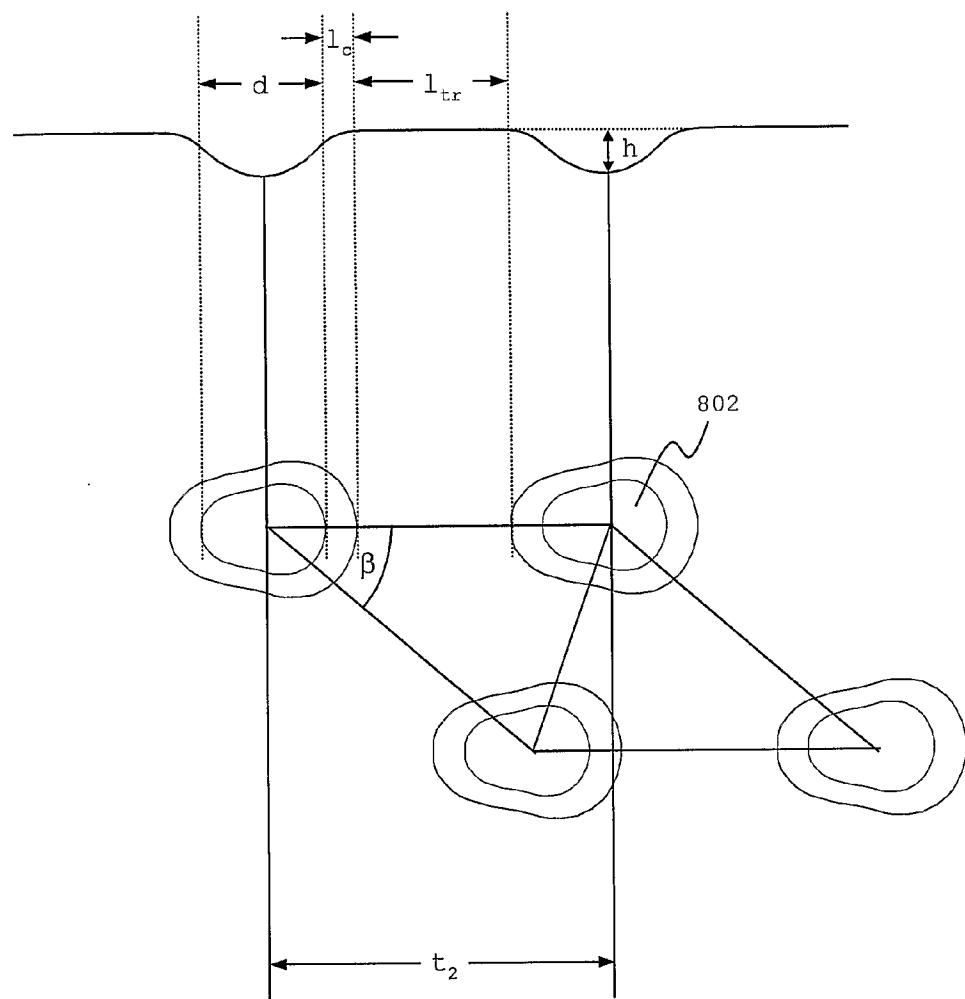


Fig. 12

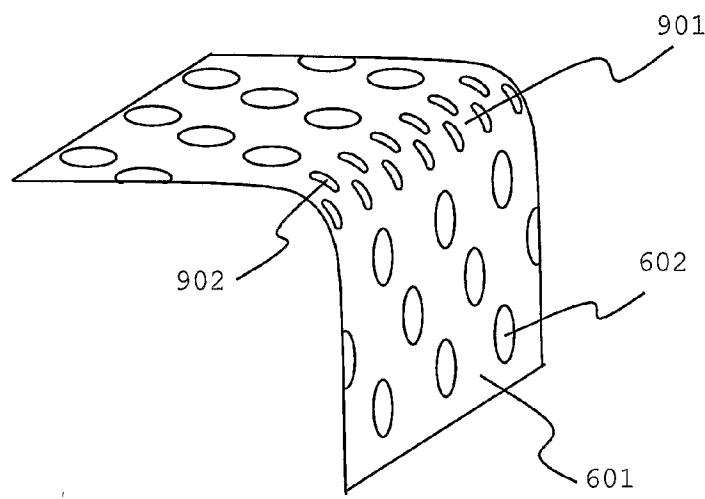


Fig. 13 a

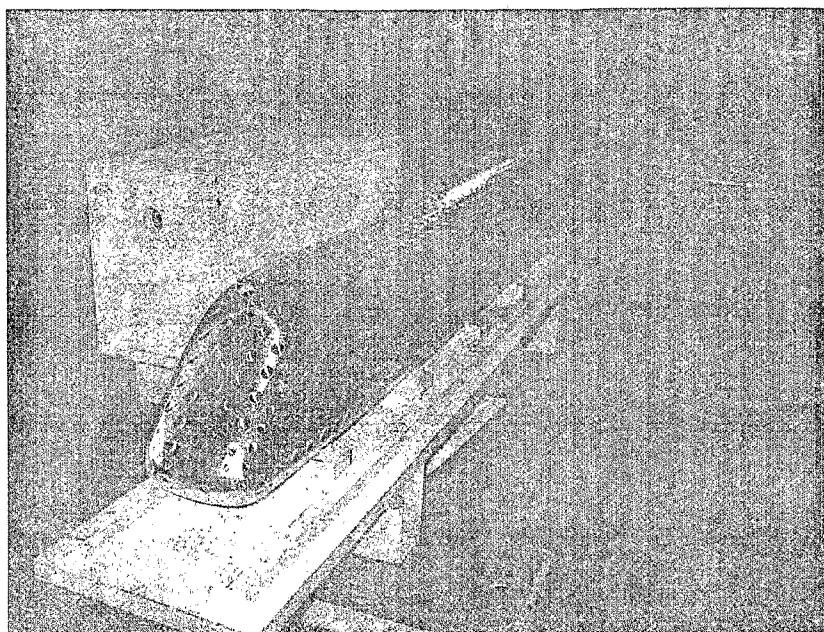


Fig. 13 b

